

## Procesamiento de problemas de Mecánica de Sólidos en entornos de Cloud Computing. El caso de estudios paramétricos.

Carlos García Garino<sup>(1)</sup>, Claudio Careglio<sup>(1)</sup>, Elina Pacini<sup>(1,2)</sup>, Anibal Mirasso<sup>(1)</sup>,  
Luc Papeleux<sup>(3)</sup>, Jean Philippe Ponthot<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería e ITIC,

<sup>(2)</sup> CONICET,

<sup>(3)</sup> Aerospace and Mechanical Engineering Department. LTAS-Computational mechanics.  
Liège Université.

cgarcia@itu.uncu.edu.ar, epacini@itu.uncu.edu.ar, ccareglio@uncu.edu.ar,  
L.Papeleux@uliege.be, JP.Ponthot@uliege.be

### RESUMEN

El proyecto estudia el procesamiento en entornos de Cloud Computing de la simulación numérica de problemas con grandes deformaciones elastoplásticas. En muchos casos de interés se debe estudiar la sensibilidad de los resultados del problema frente a cambios en los datos de entrada y/o en la discretización del problema de interés. Por ejemplo, la simulación numérica del ensayo de tracción simple en el rango de grandes deformaciones presenta estas características. Desde el punto de vista de Cloud Computing se estudiará la eficiencia de algoritmos de planificación de trabajos como es el caso de Ant Colony Optimization (ACO) y Particle Swarm Optimization (PSO) para llevar a cabo la asignación de trabajos propios del procesamiento paramétrico de este tipo de problemas.

**Palabras clave:** *Cloud Computing, Procesamiento Paramétrico, Mecánica de Sólidos.*

### CONTEXTO

El grupo de trabajo de la Universidad Nacional de Cuyo desarrolla sus tareas en el Instituto para las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, ITIC y la Facultad de Ingeniería. Actualmente, en el contexto de la convocatoria de Proyectos de

investigación SIIP 2019, se llevan a cabo dos proyectos de investigación. El primero de ellos está orientado al estudio de problemas de plasticidad con grandes deformaciones [1] y contempla el procesamiento en entornos de Cloud Computing. En este caso se trabaja en cooperación con el grupo del Prof. Ponthot de la Universidad de Lieja. El segundo proyecto estudia planificadores de tareas en el entorno de Cloud Computing [2].

### 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto propone el estudio de problemas de Mecánica de Sólidos [3], así como su procesamiento en entornos de Cloud Computing. Para ello se emplean códigos basados en el Método de Elementos Finitos [4], en particular el código SOGDE3D [5]. Este programa, de índole académica, posee la capacidad de resolver problemas con grandes deformaciones elastoplásticas. De esta manera se pueden resolver complejos problemas de ingeniería estructural, ingeniería mecánica, etc.

La presente propuesta continúa proyectos previos de los autores [6,7] que en general han estudiado problemas de plasticidad con grandes deformaciones y su procesamiento en entornos de computación distribuida. En trabajos previos del grupo [8,9], pueden consultarse algunos avances y resultados obtenidos en el campo de la plasticidad con grandes deformaciones.

De los resultados obtenidos en los trabajos citados [8,9] surge que en muchos casos de interés práctico los resultados son sensibles a cambios en la geometría. Resulta entonces de interés plantear estudios paramétricos que permitan evaluar la sensibilidad de los resultados del problema en función del cambio de algunas variables del problema.

Cloud Computing se ha convertido en una herramienta de mucha potencialidad y valor para para ejecutar flujos de trabajo científicos y de ingeniería.

Los estudios paramétricos consisten en procesar un problema determinado con diferentes valores en los datos del problema, cuya variación sigue una ley previamente definida. Luego, en general, se debe procesar una cantidad de casos, cada una de las cuales conlleva una simulación de elementos finitos. Es conveniente procesar estas simulaciones en un entorno de computación distribuida y Cloud Computing aparece como una tecnología de interés [10,11].

La simulación numérica del ensayo de tracción simple, también conocido *necking* en la literatura debido la estricción que se produce en la probeta en presencia de grandes deformaciones, es un proceso relativamente complejo desde el punto de vista numérico. Para el caso de probetas rectangulares es necesario simular el problema en 3D y el procesamiento es costoso en términos de esfuerzo computacional. Entonces es necesario profundizar el estudio de los planificadores en entornos de Cloud Computing.

Un caso de interés académico es analizar este problema para pequeños espesores de la probeta, reproduciendo así (en el límite) un estado aproximado al problema plano de tensiones. Luego resulta de interés investigar la respuesta del problema frente a cambios en el espesor y la sensibilidad de los resultados obtenidos frente a dichos cambios.

También es importante seleccionar un entorno adecuado de Cloud Computing y estudiar los planificadores para asignar de manera óptima los recursos a los trabajos con el fin de disminuir los tiempos de cálculo.

## 2. LINEAS DE INVESTIGACIÓN y DESARROLLO

El proyecto plantea el siguiente Objetivo General:

Investigar la sensibilidad de los resultados de la simulación de problemas con grandes deformaciones frente a cambios en la malla de elementos finitos y otras variables de entrada de interés. Para ello se llevarán a cabo estudios paramétricos en entorno de Cloud Computing.

Para alcanzar el Objetivo general se plantean los siguientes Objetivos específicos

- a) Relevar el estado del arte
- b) Estudiar la sensibilidad de los resultados de la simulación del ensayo de tracción simple para el caso de probetas rectangulares, frente a la variación del espesor.
- c) Estudiar y mejorar los planificadores para la ejecución de problemas de Cloud Computing.
- d) Formar Recursos Humanos
- e) Transferir y difundir los resultados obtenidos.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

### *Resultados Obtenidos*

Los resultados obtenidos al presente se informan desde el punto de vista disciplinar y de Cloud Computing.

Desde el punto de vista de la Mecánica Computacional, cabe destacar, entre otros estudios, la simulación numérica del problema de tracción simple para el caso de probetas de sección rectangular [12], como se observa en la Figura 1.

Se llevaron a cabo dos estudios de elementos finitos con el código SOGDE3D [6], uno de referencia que simuló el caso general 3D, ver

figura 2 superior y otro que modeló una probeta delgada, ver figura 2 inferior.

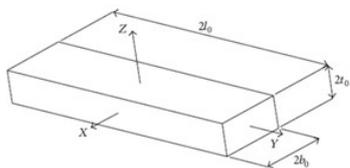


Figura 1: Probeta de sección rectangular, sistema de coordenadas y dimensiones  $2b_0$ ,  $2l_0$  y  $2t_0$ .

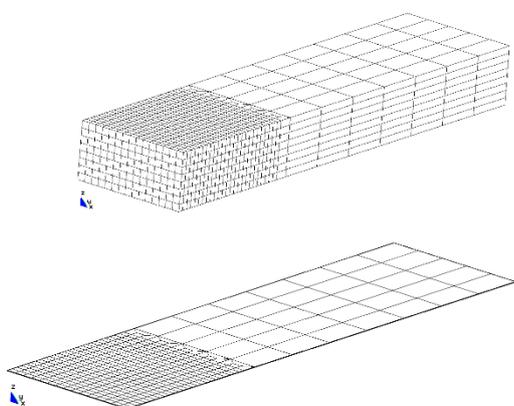


Figura 2: Mallas de Elementos Finitos para el para el caso general 3D (superior) y el caso de la probeta delgada (inferior).

Se ha comprobado que es factible obtener buenos resultados pese a la gran esbeltez de las probetas delgadas, cuyo modelado conlleva grandes relaciones de aspecto en los elementos hexaédricos utilizados en la malla de elementos finitos.

En la figura 4 se muestran de los contornos de la tensión efectiva de Von Mises, que es un indicador del daño que sufre el material. En la misma se observan dos bandas de color rojo dispuestas aproximadamente a 40 grados, que son características de la simulación de probetas delgadas y que no aparecen para los casos generales 3D (ver figura 2 superior).

También se han obtenido resultados valiosos en lo que respecta a la asignación de trabajos en Cloud Computing [13-15].

El procesamiento en la nube ha recibido mucho interés por parte de los investigadores disciplinares. La nube permite el acceso

rápido y elástico a grandes cantidades de recursos informáticos y entonces es posible ejecutar experimentos a gran escala con carga de trabajo variable, como resultan experimentos de barrido de parámetros (PSE).

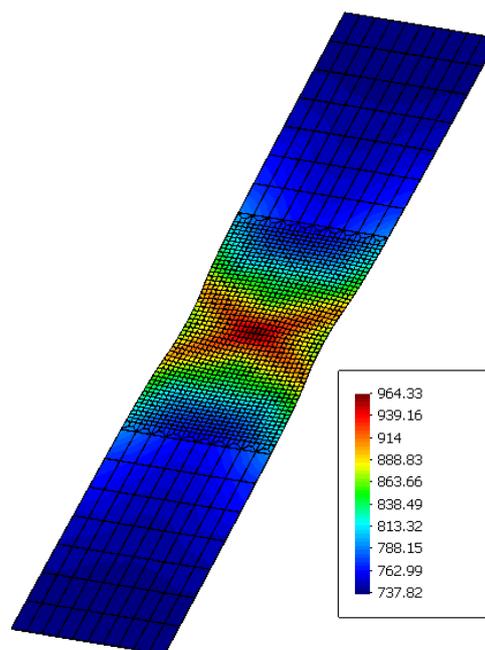


Figura 3: Contornos de tensiones efectivas de Von Mises, superpuestos a la malla deformada para el caso de la probeta delgada.

En este sentido resultan de gran utilidad Los escaladores automáticos o autoscalers que son componentes de software, a nivel de middleware que permiten incrementar o disminuir el tamaño de la plataforma de cálculo mediante la adquisición o finalización de las tareas de las máquinas virtuales (VM), en función de la carga de tareas del flujo de trabajo.

En un trabajo previo [13] se ha propuesto el escalador automático evolutivo multiobjetivo (MOEA), que utiliza un algoritmo de optimización multiobjetivo para determinar el conjunto de posibles configuraciones de infraestructura virtual. El rendimiento de MOEA está muy influenciado por el algoritmo de optimización subyacente utilizado y su ajuste. Luego se analizaron dos algoritmos evolutivos multiobjetivos bien

conocidos (NSGA-II y NSGA-III) y su impacto en el rendimiento del escalador. Los experimentos simulados con tres PSE del mundo real muestran que MOEA mejora en gran medida cuando se usa NSGA-III en lugar de NSGA-II debido a que el primero proporciona una mejor compensación de explotación frente a exploración.

En el trabajo [14] se propuso un escalador automático multiobjetivo en línea para flujos de trabajo denominado Cloud Multi-Object Intelligence (CMI). El objetivo de CMI es la minimización de la duración, el costo monetario y el impacto potencial de los errores derivados de la falta de fiabilidad de las VM. Además, el escalador está sujeto a restricciones presupuestarias monetarias propias del problema. Así CMI es responsable de resolver periódicamente de manera automática los problemas de ajuste de la plataforma simultáneamente con la ejecución del flujo de trabajo. Los experimentos realizados han mostrado muy buenos resultados que se discuten en el trabajo y se comparan con otros disponibles en la literatura.

Un problema clave del ajuste de escala automático del flujo de trabajo bajo restricciones presupuestarias (es decir, con un límite máximo en el costo) es determinar la proporción correcta entre: VM costosas pero confiables llamadas instancias bajo demanda, y VM más baratas pero sujetas a fallas llamadas instancias puntuales. Las instancias puntuales pueden proporcionar enormes posibilidades de paralelismo a bajo costo, pero deben usarse con prudencia, ya que pueden fallar inesperadamente y obstaculizar la fabricación. Dada la imprevisibilidad de las fallas y la variabilidad inherente del rendimiento de las nubes, diseñar una política para asignar el presupuesto para cada tipo de instancia no es una tarea trivial. Por tal razón, se ha formalizado el problema descrito como un proceso de decisión de Markov [15] que permite aprender políticas casi óptimas a partir de la experiencia de otras políticas de base. Los experimentos sobre cuatro flujos de trabajo científicos bien conocidos demuestran

que las políticas aprendidas superan a las políticas de referencia considerando la diferencia porcentual relativa agregada de la fabricación y el costo de ejecución.

### **Resultados Esperados**

Se ´parte de los resultados preliminares informados en el trabajo acerca de la simulación del ensayo de tracción simple sometida de probetas delgadas [12]. A partir de los mismos se plantea diseñar primero y procesar y analizar luego un estudio paramétrico que varíe el espesor de la probeta y permita identificar el cambio de las variables de interés en función del espesor de la probeta. Es difícil estimar a priori la cantidad de casos a considerar. Posiblemente se parta de un número reducido de casos, 10 por ejemplo y una vez que se obtengan los primeros resultados *refinar* el estudio, agregando más casos con distintos espesores, que puedan cambiar de manera uniforme o quizás en un intervalo particular. Será de mucho interés analizar en este caso las dificultades de convergencia de los diferentes casos considerados. En la práctica, si cambia el número de iteraciones de equilibrio requeridas para alcanzar convergencia, o si fuese necesario cambiar el programa de cargas del proceso iterativo incremental propio de los estudios no lineales de elementos finitos, entonces puede cambiar significativamente el tiempo de cómputo de caso del estudio paramétrico.

Luego será de interés procesar el estudio paramétrico con algoritmos ya estudiados por los autores para este tipo de problemas. La novedad frente a los estudios previos [11], es que en los mismos los diferentes casos procesados presentaban mayor uniformidad en los tiempos de cómputo, característica que posiblemente no se cumpla para el estudio de interés y que quizás puede impactar en el rendimiento de los planificadores utilizados previamente [11].

Por otra parte, será de interés analizar la posibilidad de procesar estos problemas en entornos de cloud comerciales, además de cloud privadas, apuntando a instancias spot,

bajo demanda o una combinación de las mismas, siguiendo las recomendaciones de los trabajos previos de los autores [13-15].

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La Lic Yisel Gari, becaria doctoral de CONICET, trabaja en temas relacionados con los proyectos citados y está próxima a terminar su doctorado. El equipo del proyecto a cargo de García Garino incluye a varios alumnos avanzados de Ingeniería.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento recibido de la Universidad Nacional de Cuyo a través de los proyectos 06/B369 y B082.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Proyecto Biental Tipo I: 06/B369 Simulación Numérica de Problemas con grandes deformaciones. Estudio de la sensibilidad de los resultados frente a cambios en la malla de elementos finitos y datos del problema. Director: Carlos García Garino. SIIP, UNCuyo, 2019-2021
- [2] Proyecto Biental Tipo I: B082 Optimización y Autoescalado basado en Metaheurísticas para la ejecución eficiente de Aplicaciones Científicas en Infraestructuras Cloud. Director: Elina Pacini. SIIP, UNCuyo, 2019-2021
- [3] Niels Ottosen y Matii Ristinmaa: *The Mechanics of Constitutive Modelling*, Elsevier, 2005.
- [4] Oleg Zienkiewicz and Robert Taylor: *The Finite Element Method*, 5th Edition, Vol. 1 and Vol. 2, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [5] Claudio Careglio: *Respuesta mecánica global y local en problemas elastoplásticos con grandes deformaciones*, Tesis Doctoral, Carrera de Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, 2017.
- [6] Proyecto 06/B308: *Procesamiento de problemas de mecánica de sólidos en entornos de computación distribuida*. Director Carlos García Garino. Proyecto bienal UNCuyo, 2013-2015.
- [7] Proyecto B057: *Simulación de estudios paramétricos de estudios de forjado en caliente sobre entornos de Cloud Computing*. Director Dr. Claudio Careglio. Proyecto Biental Tipo II. UNCuyo, 2016-2018.
- [8] Carlos García Garino, Felipe Gabaldón y José M<sup>a</sup> Goicolea: *Finite Element Simulation of Simple tension test.*, *Finite Element Analysis and Design*, 2, 1187-1197, 2006.
- [9] Claudio Careglio, Diego Celentano, Carlos García Garino y Anibal Mirasso: *Global and Local Mechanical Responses for Necking of Rectangular Bars Using Updated and Total Lagrangian Finite Element Formulations*. *Mathematical Problems in Engineering*. Hindawi Publishing Corporation. 2016 vol.2016 n<sup>o</sup>. p1 - 12. issn 1024-123X. eissn 1563-5147
- [10] Carlos García Garino, Elina Pacini, David Monge, Claudio Careglio y Anibal Mirasso: *Computational Mechanics Software as a Service Project*. *Journal of Computer Science & Technology*. La Plata: ISTECS., 2013 vol.13 n<sup>o</sup>. p160 - 166. issn 1666-6038.
- [11] Elina Pacini, Cristian Mateos, Carlos García Garino, Claudio Careglio y Anibal Mirasso A: *A bioinspired scheduler for minimizing makespan and flowtime of computational mechanics applications on federated clouds.* *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. Amsterdam. Ios Press. 2016 vol.31 n<sup>o</sup>3. p1731 - 1743. issn 1064-1246.
- [12] Claudio Careglio, Carlos García Garino, Anibal Mirasso, Diego Celentano, Luc Papeleux y Jean-Philippe Ponthot: *simulación numérica del ensayo de tracción simple Para probetas delgadas. Análisis del caso límite 3D. Enviado para su evaluación y eventual publicación al Congreso MACI 2001. En revisión.*
- [13] Virginia Yannibelli, Elina Pacini, David Monge, Cristian Mateos y Guillermo Rodriguez: *A Comparative Analysis of NSGA-II and NSGA-III for Autoscaling Parameter Sweep Experiments in the Cloud*. *Sci. Program*. 2020: 4653204:1-4653204:17 (2020).
- [14]. Monge, D.; Pacini, E.; Mateos, C.; Alba, E., García Garino, C.: *CMI: An Online Multi-objective Genetic Autoscaler for Scientific and Engineering Workflows in Cloud Infrastructures with Unreliable Virtual Machines*. *Journal of Network and Computer Applications*, 149 (2020).
- [15] Yisel Gari, David Monge, Cristian Mateos, Carlos García Garino: *Learning budget assignment policies for autoscaling scientific workflows in the cloud*. *Clust. Comput*. 23(1): 87-105 (2020).